温度对菜豆象发育和繁殖的影响

姚 洁, 戴仁怀*, 代传勇, 杨 洪

(贵州大学昆虫研究所, 贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025)

摘要:【目的】本研究旨在探讨不同温度下菜豆象 *Acanthoscelides obtectus* (Say)种群生长发育和繁殖的状况。【方法】在20, 23, 26, 29 和 32℃下,测定了菜豆象各虫态的发育历期,用线性回归、Logistic 模型以及"王-兰-丁"模型对温度与菜豆象各虫态之间的关系进行拟合;采用最小二乘法计算出各虫态的发育起点温度和有效积温,并组建了菜豆象在不同温度下的实验种群生殖力生命表。【结果】菜豆象各虫态的发育历期随着温度的升高而缩短,而发育速率与温度之间呈正相关,Logistic 和"王-兰-丁"模型比一般线性模型更能拟合菜豆象发育速率与温度之间的关系。菜豆象全世代的发育起点温度和有效积温分别为 6.44℃和 858.22 d·℃;菜豆象产卵量、孵化率和存活率在 26℃下最高,分别为 52.71 粒、82.67% 和 75.67%;在 32℃下最低,分别为 33.20 粒、69.33% 和 41.67%。在20, 23, 26, 29 和32℃下内禀增长率 r_m值分别为0.05, 0.07, 0.08, 0.09 和0.08;净增殖率 R_0值分别为 25.54, 33.80, 39.87, 34.52 和 13.86。【结论】温度对菜豆象种群发育和繁殖具有显著影响,表明 20 ~29℃是菜豆象生长发育和繁殖的最适温度范围。

关键词: 菜豆象; 发育速率; 发育起点温度; 有效积温; 数学模型; 种群生命表

中图分类号: Q968 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2016)07-0739-08

Effects of temperature on the development and reproduction of *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae)

YAO Jie, DAI Ren-Huai*, DAI Chuan-Yong, YANG Hong (Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of Mountainous Region, Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract:【Aim】This study aims to explore the influence of temperature on the development and reproduction of the experimental populations of *Acanthoscelides obtectus*.【Methods】The duration of different developmental stages of *A. obtectus* were measured at different temperatures (20, 23, 26, 29 and 32℃), the relationship between temperature and developmental stage was fitted using line regression, Logistic model and "Wang-Lan-Ding" model, the developmental threshold temperature and effective accumulated temperature were calculated by using least square method, and the life tables of the experimental populations were established.【Results】The duration of various developmental stages of *A. obtectus* shortened with the rise of temperature, whereas the developmental rate was positively correlated with temperature. For the relationship between developmental rate and temperature, the Logistic model and "Wang-Lan-Ding" model fitted better than the line regression model. The developmental threshold temperature and the effective accumulated temperature for generation were 6.44℃ and 858.22 degree-days, respectively. Fecundity, hatchability and survival rate were the highest at 26℃ (52.71 eggs, 82.67% and 75.67%, respectively), and the lowest at 32℃ (33.20 eggs, 69.33% and 41.67%,

---

基金项目: 农业昆虫与害虫防治专业研究生卓越人才计划(黔教研合 ZYRC 字[2013]010)
作者简介: 姚洁, 女, 1991 年 6 月生, 贵州三都人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态学及害虫综合治理, E-mail: jesse-jie@163.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: agr.rhdai@gzu.edu.cn
收稿日期 Received: 2016-04-01; 接受日期 Accepted: 2016-06-26

respectively). The r_m values were 0.05, 0.07, 0.08, 0.09 and 0.08, and the R_0 values were 25.54, 33.80, 39.87, 34.52 and 13.86 at 20, 23, 26, 29 and 32℃, respectively.【Conclusion】Temperature has a significant effect on the population growth and reproduction of *A. obtectus*, and the optimum temperature range for its growth and development and reproduction is between 20 – 29℃.

Key words: *Acanthoscelides obtectus*; developmental rate; developmental threshold temperature; effective accumulated temperature; mathematical model; population life table

菜豆象 *Acanthoscelides obtectus*,又称大豆象,属鞘翅目豆象科。原产于南美和中美,分布于美国、澳大利亚、英国、南非、日本等几十个国家和地区(张生芳和刘永平, 1992),是一种主要危害菜豆 *Phaseolus vulgaris*、芸豆 *Phaseolus vulgaris*、长豇豆 *Vigna sesquipedalis* 和短豇豆 *Vigna unguiculata cylindrica* 等多种菜豆的世界性害虫(王菊平等, 2006)。菜豆象借助豆类种子,通过贸易和引种被携带传播,属重大农业植物检疫性有害生物和进境植物检疫性有害生物。据报道,2009 年之前菜豆象在我国许多口岸均有截获(佟艳洁, 2001; 苏宝良等, 2002; 钱吉生等, 2005),发生地区有北京、南京和海南等,2009 年后云南曲靖市和玉溪市也有发生,近期贵州省部分地区的植保部门在普查中也发现了菜豆象,再次引起了人们的高度重视(申智慧等, 2014)。

在国外,菜豆象在波兰、哈萨克斯坦及俄罗斯一年发生 3 ~4 代,在法国南部一年 4 代,在美国加利福尼及非洲的刚果一年 5 ~6 代,在智利一年多达 8 代(刘永平和张生芳, 1995);菜豆象在国内实验室自然条件下每年发生 7 代,世代重叠现象明显(全尚雄等, 1997),菜豆象幼虫或成虫越冬场所包括田间和仓库,在仓库越冬的成虫于春季温度回升至 15 ~16℃时开始复苏,飞往田间。菜豆象发育的温度范围一般为 15 ~34℃之间,卵期发育起始温度为 14.27℃, 幼虫期为 9.42℃, 蛹期为 14.40℃ (Pfaffenberger, 1985),寿命一般为 20 ~28 d。李南植等(1995)研究表明,在适宜温、湿度范围内,温度越高,菜豆象成虫的寿命越短,在相同温度条件下,湿度越高菜豆象成虫产卵历期越长,产卵总量也随之增加,产卵量受寄主有无的影响较明显。番启山等(1994)研究发现,相同湿度条件下,菜豆象卵期随温度升高而明显缩短。在 RH 75% ~80% 的条件下,32℃时卵期为 6.7 d,29℃时卵期为 7.4 d,26℃时卵期为 8.4 d,22℃时卵期为 10.5 d,19℃时卵期为 15.7 d。随着全球贸易的发展,菜豆象的危害逐步向全球扩散,而菜豆象在国内的研究虽然起步早,但主要涉及其检疫(莫仁浩和吴佳教, 2006; 王辉等, 2013),形态特征(曾琛和杨波, 2015)、鉴定(张生芳和刘永平, 1991)、发生动态(黄信飞等, 1993b; 吕杰等, 1994; 汪成平等, 2010)和寄主植物范围(黄信飞等, 1993a),国外的研究则主要集中在菜豆的隔离防虫(García-Perea *et al*., 2014; Mutungi *et al*., 2015; Freitas *et al*., 2016)、菜豆象的化学防治(Fogang *et al*., 2012; Mining *et al*., 2014; Jumbo *et al*., 2014)以及菜豆象在不同豆类种子上的发育状况(Baldin and Lara, 2004; Ramírez and Suris, 2015)。在早期,Howe 和 Currie(1964)对菜豆象等几种仓储害虫进行过发育速率、产卵率及存活率的比较;Leroi(1981)通过不同饲养材料对菜豆象寿命和繁殖力的影响进行初步探究;Sönmez 和 Gülel(2008)测定不同温度下进行菜豆象体内总碳水化合物、脂质和蛋白质含量变化;Krnjaic(1976)和 Soares 等(2014)还报道在不同温度下菜豆象的发育历期、繁殖力、寿命和取食等状况,但均未涉及其种群生命表的组建,也未明确提出温度对菜豆象种群发育状况的影响。

因此,本研究以菜豆为寄主,系统分析了温度与菜豆象发育之间的数学关系,探讨不同温度下菜豆象种群生长发育和繁殖的状况,根据有效积温法则,计算该虫各虫态的发育起点温度和有效积温,组建菜豆象在不同温度下的生殖力生命表,以期为菜豆象的检疫和可持续治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试虫和实验器具

供试虫源:菜豆象采自贵州平坝,并在气候箱中进行人工饲养。将菜豆象成虫接种于菜豆(经 50℃干燥 12 h)中饲养,待成虫产卵 1 周后将其移除,孵出幼虫在温度为 25 ±1℃、相对湿度为 75% ±5%, 24 h 光照条件下继续多代饲养,以健康成虫(羽化 1 ~3 周)作为供试虫源。

所用实验器具包括人工气候箱、显微镜、培养

皿、广口瓶、镊子、软毛刷、纱布等。

1.2　饲养和观察方法

取刚交配完的菜豆象成虫 20 对放入广口瓶中，放入无虫菜豆供其产卵，24 h 之后将带有 100 卵粒的菜豆放入培养皿中置于 5 个温度梯度下（20，23，26，29 和 32℃，相对湿度设置为 75%，光周期设置为 14L∶10D，光强度 3 500 lx）待其孵化，记录卵历期和孵化率，用软毛笔将孵化的幼虫移入装有 100 粒菜豆的广口瓶中置于不同温度梯度下饲养，记录菜豆象从 1 龄幼虫到成虫羽化所经历的时间（因为菜豆象幼虫蛀入菜豆后，剖开检查易造成幼虫损伤，故将菜豆象幼虫期与蛹期合为一个观察项目），每组 3 个重复。成虫羽化后立即移走单头饲养，直至不再出现成虫后剖开菜豆种子，记录里面未羽化蛹的数量，计算化蛹率。将搜集到的成虫配对饲养于放入菜豆的离心管（ d × h = 2 cm × 8 cm），记录产卵历期、产卵量、孵化率和成虫寿命，组建菜豆象在不同温度梯度下的生殖力生命表。

1.3　数据分析

实验数据以 Excel 2007 进行整理，以加权平均法进行统计，采用 SPSS17.0 软件进行方差分析，多重比较采用 Duncan 氏新复极差法。又以 SPSS17.0 分别采用直线回归、Logistic 模型和“王-兰-丁”模型拟合发育速率与温度的关系，并比较 3 种方程拟合所得参数的异同，以获取菜豆象对温度的生态适应性参数。

（1）直线回归模拟（冯康，1978）温度与菜豆象发育速率之间的关系，公式为：

$$K = at + b。$$

式中，K 为发育速率，t 为发育温度（℃），a 和 b 均为常数。

（2）Logistic 模型（Davidson，1944）拟合温度与菜豆象发育速率之间的关系，公式为：

$$V(t) = \frac{K}{1 + \mathrm{EXP}(a - bt)}。$$

式中，K 为发育速率，t 为发育温度（℃），a 和 b 均为常数。

（3）“王-兰-丁”模型（王如松等，1982）拟合温度与菜豆象发育速率之间的关系，公式为：

$$V(t) = \frac{K}{1 + \mathrm{EXP}[-r(t - T_0)]} \times \left[1 - \mathrm{EXP}\left(-\frac{t - T_L}{\delta}\right)\right] \times \left[1 - \mathrm{EXP}\left(-\frac{T_H - t}{\delta}\right)\right]。$$

式中，K 为高温下潜在的饱和发育速率，r 是发育速率随温度变化的指数增长率；T_L 和 T_H 分别为最高和最低发育温度，T_0 为最适发育温度，δ 为边界层宽度。

（4）根据发育速率与温度关系的模型，将不同温度下各虫态（龄）和整个世代的发育历期进行加权平均，求得各虫态的平均历期，将其换算成相应的平均发育速率 V（$V = 1/D$），采用“最小二乘法”公式，计算各虫态的发育起点温度（C）和有效积温（K）（李典谟和王莽莽，1986；张孝羲，2002）：

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2};$$

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}。$$

按下列公式计算发育起点温度（C）和有效积温（K）的标准误，分别为 S_c 和 S_k：

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (T - T)^2}{n - 2}\left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{V}^2}{\sum (V - \bar{V})^2}\right)};$$

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum (T - T)^2}{(n - 2)\sum (V - \bar{V})^2}}。$$

（5）生命表参数的计算方法（吴坤君等，1980；庞雄飞和梁广文，2002）：

净增殖率 $R_0 = \sum l_x m_x$；内禀增长率 $r_m = \ln R_0 / T$；世代平均历期 $T = \sum l_x m_x x / R_0$；周限增长率 $\lambda = e^{rm}$；种群加倍时间 $t = \ln 2 / r_m$。

其中，x 表示以天（d）为单位的时间间隔，lx 表示任一个体在 x 期间的存活率，m_x 表示在 x 期间平均每雌产卵数。

2　结果与分析

2.1　温度对菜豆象卵孵化率和幼虫-蛹期存活率的影响

菜豆象在 20 ~ 32℃ 范围内孵化率和幼虫-蛹期存活率实验结果见表 1。菜豆象孵化率和存活率随温度升高均呈先升高后降低的趋势，当温度为 26℃ 时，菜豆象的孵化率和存活率同时达到最高值，分别为 82.67% 和 75.67%；当温度为 32℃ 时，菜豆象孵化率和存活率同时达到最低值，分别为 69.33% 和 41.67%。另外，温度对菜豆象孵化率和存活率均符合抛物线方程，拟合方程分别为：$y = -3.524x^2 + 21.21x + 51.867$（$R^2 = 0.981$）；$y = -5.191x^2 + 26.01x + 45.267$（$R^2 = 0.820$）。

表 1 不同温度下菜豆象卵孵化率及幼虫-蛹期存活率

Table 1 Hatchability of eggs and survival rate of *Acanthoscelides obtectus* at larval-pupal stage

温度(℃) Temperature	孵化率(%) Hatchability of eggs	幼虫-蛹期存活率(%) Survival rate at larval-pupal stage
20	69.67 ±2.03 b	69.67 ±2.33 a
23	80.33 ±1.67 a	69.67 ±3.38 a
26	82.67 ±0.88 a	75.67 ±0.88 a
29	81.67 ±1.20 a	74.33 ±1.20 a
32	69.33 ±1.86 b	41.67 ±2.85 b

表中数据格式为平均数 ± 标准误;同列数据后具不同字母者表示差异显著($P<0.05$, Duncan 氏多重比较)。表 2, 3 和 6 同。Data in the table are mean ± *SE*. Means followed by different letters in the same column are significantly different ($P<0.05$, Duncan's multiple range comparison). The same for Tables 2, 3 and 6.

2.2 温度对成虫寿命及产卵量的影响

不同温度下菜豆象成虫寿命和产卵量见表 2。菜豆象成虫寿命随温度升高而呈现缩短趋势,20℃平均寿命最高达 29.04 d,32℃平均寿命最低仅为 14.33 d,两温度下平均寿命相差 14.71 d,说明温度对菜豆象的成虫寿命具有显著影响($P<0.05$)。菜豆象产卵量在 26℃最多为 52.71 粒,高峰后随着温度的升高产卵量逐渐下降,32℃时菜豆象产卵量最少为 33.20 粒,表明高温下的产卵量下降符合能量分配策略,即随着高温胁迫的加强,菜豆象体内的更多能量用于生存,以至于生殖的能量配比有所下降。拟合温度与菜豆象产卵量之间的关系符合二次抛物线模型,拟合方程为 $y=-4.300x^2+24.958x+15.840$ ($R^2=0.996$)。

表 2 不同温度下菜豆象成虫寿命及产卵量

Table 2 Longevity and fecundity of female adults of *Acanthoscelides obtectus* at different temperatures

温度(℃) Temperature	产卵量 Number of eggs laid		寿命 Longevity (d)	
	平均值 ± *SE* Mean ± *SE*	极差 Range	平均值 ± *SE* Mean ± *SE*	极差 Range
20	36.65 ±1.81 b	13 – 65	29.04 ±0.67 a	13 – 43
23	48.02 ±5.97 a	18 – 79	24.84 ±0.31 b	8 – 42
26	52.71 ±1.50 a	21 – 81	19.78 ±0.08 c	6 – 37
29	46.46 ±0.81 a	19 – 69	16.22 ±0.15 d	6 – 32
32	33.20 ±0.54 b	19 – 52	14.33 ±0.08 e	5 – 26

2.3 温度对菜豆象各虫态发育历期的影响

不同温度下菜豆象各虫态的发育历期见表 3。在 20 ~ 32℃范围内,菜豆象的卵、幼虫-蛹、产卵前期以及全世代的发育历期均与温度呈负相关,即随着温度的升高发育历期明显缩短,如卵的发育历期由 20℃的 12.43 d 缩短到 32℃的 5.63 d,两者相差 6.8 d;幼虫-蛹的发育历期由 20℃的 38.54 d 缩短到 32℃的 21.38 d,两者相差 17.16 d;产卵前期则由 20℃的 9.08 d 缩短到 32℃的 5.33 d,两者相差 3.75 d;全世代则由 20℃的 60.06 d 缩短到 32℃的 32.34 d,两者相差 27.72 d。方差分析同样表明,不同温度下各发育阶段的历期存在显著差异($P<0.05$)。

表 3 不同温度下菜豆象的发育历期

Table 3 Developmental duration of *Acanthoscelides obtectus* at different temperatures

温度(℃) Temperature	卵期(d) Egg duration	幼虫-蛹历期(d) Larval-pupal duration	产卵前期(d) Preovipositon duration	全世代(d) Generation
20	12.43 ±1.00 a	38.54 ±0.46 a	9.08 ±0.04 a	60.06 ±0.55 a
23	8.29 ±0.09 b	33.58 ±0.24 b	8.25 ±0.03 b	50.12 ±0.17 b
26	7.29 ±0.06b c	30.30 ±0.07 c	7.64 ±0.04 c	45.23 ±0.11 c
29	6.34 ±0.07 cd	28.56 ±0.05 d	6.21 ±0.01 d	41.12 ±0.06 d
32	5.63 ±0.11 d	21.38 ±0.24 e	5.33 ±0.02 e	32.34 ±0.35 e

2.4 菜豆象各虫态的发育起点温度和有效积温

菜豆象各虫态的发育起点温度及有效积温见表 4。各虫态的发育起点温度均在 5 ~ 10℃,且符合有效积温法则,相关系数较高。卵的发育起点温度最高为 9.21℃,其次是幼虫-蛹和全世代分别为 6.73 和 6.44℃,产卵前期的发育起点温度最低为 5.32℃。菜豆象完成全世代发育所需有效积温为 858.22 d·℃,各虫态中卵所需要的有效积温最低为 124.44 d·℃,占全世代所需有效积温的 14.50%;幼虫-蛹发育所需要的有效积温最高为 565.10 d·℃,占全世代所需有效积温的 65.85%。贵州中部(贵阳)大于 10℃的年有效积温约为 4 500 d·℃左右,由此可估算菜豆象种群在贵州省中部 1 年大约可繁殖 5 代左右。

2.5 温度与菜豆象生长发育速率之间的数学关系

用直线模型、Logistic 模型和“王-兰-丁”模型分别模拟发育速率和温度之间的关系见表 5。菜豆象各虫态的发育速率与温度之间均呈显著的正相关性,决定系数(R^2)均较高。线性关系中各虫期斜率:卵为 0.008,幼虫-蛹为 0.002,产卵前期为 0.006,全世代为 0.001。可见,温度对菜豆象发育速率具有极显著影响;其中各虫态中卵的斜率最大,

表 4　菜豆象各虫态的发育起点温度和有效积温

Table 4　Development threshold temperature and effective accumulated temperature of *Acanthoscelides obtectus*

虫态 Developmental stage	发育起点温度(℃) Development threshold temperature C	标准误 Sc	有效积温(d·℃) Effective accumulated temperature K	标准误 Sk	有效积温模型 Model of effective accumulated temperature $N=K/(T-C)$	相关系数 Correlation coefficient
卵 Egg	9.21	0.29	124.44	0.07	$N=124.44/(T-9.21)$	0.98
幼虫-蛹 Larva-pupa	6.73	0.46	565.10	0.46	$N=565.10/(T-6.73)$	0.94
产卵前期 Preoviposition	5.32	0.32	145.47	0.08	$N=145.47/(T-5.32)$	0.97
全世代 Generation	6.44	0.46	858.22	59.07	$N=858.22/(T-6.44)$	0.97

表 5　不同模型模拟菜豆象发育速率和温度关系的参数值和拟合度

Table 5　Parameter values of three models describing the relationship between temperature and developmental rate of *Acanthoscelides obtectus*

模型 Model	参数 Parameter	卵期 Egg stage	幼虫-蛹期 Larval-pupal stage	产卵前期 Preoviposition stage	全世代 Generation
直线模型 Linear model	$t\pm SE$	0.008±0.00	0.002±0.00	0.006±0.00	0.001±0.00
	$K\pm SE$	-0.06±0.01	-0.01±0.00	-0.03±0.01	-0.01±0.00
	R	0.98	0.94	0.97	0.97
	K	0.20	8.57	26.31	4.31
逻辑斯蒂模型 Logistic model	a	4.23	6.79	6.47	6.55
	b	0.20	0.05	0.05	0.05
	R	0.98	0.96	0.99	0.98
	K	0.20	0.14	51.40	8.54
"王-兰-丁"模型 Wang-Lan-Ding model	T_L	10.00	10.00	10.00	10.00
	T_H	37.00	37.00	37.00	37.00
	T_0	21.41	20.17	20.81	21.15
	r	-0.20	-0.05	-0.05	-0.05
	S	0.13	0.18	0.23	0.19
	R	0.98	0.96	0.99	0.98

即对温度变化反应最敏感。Logistic 模型和"王-兰-丁"模型的拟合方程决定系数(R^2)较高,这两种模型均优于线性模型,更能模拟温度与菜豆象发育速率之间的关系。

2.6　不同温度下菜豆象实验种群的生殖力生命表

根据 5 个温度下所观察的菜豆象种群生殖力资料,计算出实验种群的净增殖率(R_0)、平均世代时间(T)、内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ)和种群加倍时间(t)见表 6。结果表明,在 20～32℃范围内,菜豆象的种群平均世代历期随温度的升高而缩短,λ 值均大于 1,表明该种群在此温度范围内作几何级数增加。菜豆象种群 R_0 与 r_m 的变化趋势均为先升高后降低,R_0 在 26℃时达到最大值 39.87,r_m 在 29℃时达到最大值 0.09。种群加倍时间(t)取决于多个生态因子是一个综合性参数,由表可知其呈先下降后升高的趋势,在 20℃时菜豆象的种群加倍时间最长为 12.88 d,29℃时最短为 8.05 d,拟合温度与菜豆象种群加倍时间之间的关系符合二次抛物线模型,拟合方程为 $y=0.559x^2-4.411x+16.686$ ($R^2=0.999$)。

表 6　不同温度下菜豆象实验种群的生殖力生命表参数

Table 6　Life table parameters of experimental population for *Acanthoscelides obtectus* at different temperatures

温度(℃) Temperature	净增殖率 Net reproductive rate R_0	内禀增长率 Intrinsic increase rate r_m	周限增长率 Finite increase rate λ	世代平均历期(d) Mean generation time T	种群加倍时间(d) Population doubling time t
20	25.54±1.52 b	0.05±0.00 c	1.06±0.00 c	60.06±0.55 a	12.88±0.36 a
23	33.80±5.42 a	0.07±0.00 b	1.07±0.00 b	50.12±0.17 b	10.01±0.55 b
26	39.87±0.98 a	0.08±0.00 a	1.08±0.01 a	45.23±0.11 c	8.51±0.06 c
29	34.52±0.32 a	0.09±0.00 a	1.09±0.00 a	41.12±0.06 d	8.05±0.01 c
32	13.86±1.14 c	0.08±0.00 a	1.08±0.00 a	32.34±0.35 e	8.57±0.35 c

3 讨论

本研究表明,温度对菜豆象的生长发育速率具有显著影响,随温度的升高,菜豆象各虫态发育历期明显缩短;不同虫态对温度的反应存在明显差异,其中卵对温度最为敏感;本实验中菜豆象孵化率和产卵量随温度升高呈现抛物线规律,与 Howe 和 Currie (1964)研究结果相吻合。菜豆象卵期发育分别为 12.43, 8.29 7.29, 6.34 和 5.63 d,这与番启山等(1994)在菜豆象的生物学及防治初步研究结果略有不同,卵期较之明显缩短。这可能是经过世代的变异与环境的变化而形成的"地理种群",亦或是寄主植物品种差异而使种群生活习性、生理和生态上产生差异而造成。

本研究采用线性回归、Logistic 模型和"王-兰-丁"模型拟合菜豆象发育速率与温度之间的关系,各参数表明,线性模型只对菜豆象中温区的拟合度较高,而 Logistic 和"王-兰-丁"模型对其整体拟合度更好,该结果与李灿和李子忠(2009)在关于咖啡豆象 *Araecerus fasciculatus* 的研究结果相符,就拟合温度对昆虫实验种群生长发育之间的数学模型中,若实验温度集中在最适温度范围内,则选用线性模型拟合。若实验最低温度接近发育起点温度,最高温度接近高温临界值,则选用 Logistic 拟合。"王-兰-丁"模型是在 Logistic 模型上的修正,它更适合较广的温度范围的拟合,更具备参考价值,这也在其他昆虫探究中得到证实(周亦红等, 2001; 时培健等, 2011; 李灿, 2012)。与国内外研究结果相比较,本研究中菜豆象完成一个世代的发育起点温度和所需的有效积温分别为 6.44℃ 和 858.22 d·℃,其发育起点温度降低而有效积温升高(全尚雄等, 1997; Soares *et al*., 2014)。原因可能是前人的研究中对于菜豆象幼虫、蛹期进行过解剖豆粒观察,人为干扰导致误差增大,亦或是在饲养菜豆象时所用饲料不同。

生殖力生命表的组建被广泛应用于探究、分析外界因子对昆虫种群数量变动的影响。我国台湾学者 Chi(1988)提出的发育期结果生命表,特别适合于描述具有世代重叠的昆虫,可以从不同的侧面评价昆虫对寄生植物的适应性。尽管实验种群生命表所反映的种群动态变化和自然种群尚存在一定差别(李迎洁等, 2014)。但从本实验可知,在 26 ~ 32℃ 条件下菜豆象的内禀增长率均高于 20 和 23℃ 的内禀增长率,表明菜豆象作为储粮害虫更适应 26 ~ 32℃ 的室温条件。贵州属于亚热带气候,常年气温较高,这将导致菜豆象年发生代数多,种群的增长指数高,如防治不力,该虫将暴发成灾。

自菜豆象入侵我国来,迅速传播,由于其寄主范围广,危害相当严重,又在我国大部分地区都可以生存繁殖,防治工作刻不容缓。由于本研究是在室内恒温条件下进行,得到的数据与室外的变温条件存在差异,将其作为预测依据时应考虑其局限性,因此,为探明环境对菜豆象发生为害的影响,今后的工作有必要从室外变温条件下进行寄主、光周期和湿度等综合因子对菜豆象的生长发育的深入研究,以便于更加系统、全面地揭示出环境因子对其世代种群的影响机制,更好地为检疫和防治工作提供参考依据。

致谢 贵州大学农学院 2013 级农产品质量与安全专业本科生廖应江参与本实验的部分工作,特此致谢!

参考文献 (References)

Baldin ELL, Lara FM, 2004. Effect of storage temperature and bean genotypes on the resistance to *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *Neotrop. Entomol*., 33(3): 365 – 369.

Chi H, 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environ. Entomol*., 17(1): 26 – 34.

Davidson J, 1944. On the relationship between temperature and rate of development of insects at constant temperatures. *J. Anim. Ecol*., 26 – 38.

Fan QS, Jiao XP, Li SG, Li ZF, Zhang YY, Zhong HX, Yang RH, Wang J, 1994. A preliminary study of the biology and control of *Acanthoscelides obtectus*. *Plant Quarantine*, 8(3): 135 – 141. [番启山, 焦晓品, 李生贵, 李自飞, 张玉元, 钟焕祥, 杨润惠, 王进, 1994. 菜豆象的生物学及防治初步研究. 植物检疫, 8(3): 135 – 141]

Feng K, 1978. Methods of Numerical Calculation. National Defence Industry Press, Beijing. 154 – 160. [冯康, 1978. 数值计算方法. 北京: 国防工业出版社. 154 – 160]

Fogang HPD, Womeni HM, Piombo G, Barouh N, Tapondjou LA, 2012. Bioefficacy of essential and vegetable oils of *Zanthoxylum xanthoxyloides* seeds against *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Food Protect*., 75(3): 547 – 555.

Freitas RS, Faroni LRA, Sousa AH, 2016. Hermetic storage for control of common bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* (Say). *J. Stored Prod. Res*., 66: 1 – 5.

García-Perea MA, Jimenez-Ambriz S, Castillo-González F, Méndez-Albores A, Moreno-Martinez E, 2014. Elimination of the common bean weevil *Acanthoscelides obtectus* (Say) by hermetic storage of

dry common bean at different moisture contents. *J. Entomol. Res. Soc.*, 16(2): 13－22.

Howe RW, Currie JE, 1964. Some laboratory observations on the rates of development, mortality and oviposition of several species of Bruchidae breeding in stored pulses. *Bull. Entomol. Res.*, 55(3): 437－477.

Huang XF, Wang CJ, Shen XL, 1993a. Observations on the host selection of *Acanthoscelides obtectus*. *Plant Quarantine*, 7(2): 88－92.［黄信飞，王成炬，沈夕良，1993a. 菜豆象对寄主选择性的观察. 植物检疫，7(2): 88－92］

Huang XF, Wang CJ, Shen XL, 1993b. A preliminary study of the adaptability of *Acanthoscelides obtectus* in Wenzhou. *Plant Quarantine*, 7(6): 417－420.［黄信飞，王成炬，沈夕良，1993b. 菜豆象在温州适生性的初步研究. 植物检疫，7(6): 417－420］

Jumbo LOV, Faroni LRA, Oliveira EE, Pimentel MA, Silva GN, 2014. Potential use of clove and cinnamon essential oils to control the bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* Say, in small storage units. *Ind. Crop. Prod.*, 56: 27－34.

Krnjaic S, 1976. Longevity and duration of development of *Acanthoscelides obtectus* at different temperatures. *Zastita Bilja*, 27(135): 61－67.

Leroi B, 1981. Feeding, longevity and reproduction of adults of *Acanthoscelides obtectus* Say in laboratory conditions. In: Labeyrie V ed. Series Entomologica Vol. 19. Dr. W. Junk, The Hague. 101－111.

Li C, 2012. Mathematical models of temperature and development of larvae *Stegobium paniceum* L. in stored Chinese medicine material. *Tianjin Agricultural Sciences*, 18(1): 93－95.［李灿，2012. 两种模型拟合药材甲幼虫生长发育与环境温度的关系. 天津农业科学，18(1): 93－95］

Li C, Li ZZ, 2009. Influence of temperature on development and reproduction of experimental populations of *Araecerus fasciculatus* (Coleoptera: Anthribidae). *Acta Entomologica Sinica*, 52(12): 1385－1389.［李灿，李子忠，2009. 温度对咖啡豆象实验种群发育和繁殖的影响. 昆虫学报，52(12): 1385－1389］

Li DM, Wang MM, 1986. Methods of rapidly estimating the developmental threshold temperature and effective accumulative temperature. *Entomological Knowledge*, 23(4): 184－187.［李典谟，王莽莽，1986. 快速估计发育起点及有效积温法的研究. 昆虫知识，23(4): 184－187］

Li NZ, Song BS, Lv J, Han GR, 1995. Effects of environmental temperature and humidity on adult longevity and loviposition of *Acanthoscelides obtectus*. *Plant Quarantine*, 9(4): 193－197.［李南植，宋保深，吕杰，韩光日，1995. 环境温湿度对菜豆象成虫寿命及产卵影响的研究. 植物检疫，9(4): 193－197］

Li YJ, Wang ZY, Zhang GH, Liu H, 2014. Effects of different temperatures on the growth and development of *Eotetranychus kankitus* (Ehara). *Acta Ecologica Sinica*, 34(4): 862－868.［李迎洁，王梓英，张国豪，刘怀，2014. 温度对柑橘始叶螨实验种群生长发育繁殖的影响. 生态学报，34(4): 862－868］

Liu YP, Zhang SF, 1995. A preliminary analysis of the adaptability of *Acanthoscelides obtectus* in China. *Journal of Jilin Grain College*, 10(4): 1－9.［刘永平，张生芳，1995. 菜豆象在我国适生性的初步分析. 吉林粮食高等专科学校学报，10(4): 1－9］

Lv J, Song BS, Li NZ, Xu RL, 1994. A preliminary observation of *Acanthoscelides obtectus* damage. *Plant Quarantine*, 8(5): 263－267.［吕杰，宋保深，李南植，许日龙，1994. 菜豆象危害损失的初步观察. 植物检疫，8(5): 263－267］

Mining J, Lagat ZO, Akenga T, Tarus P, Imbuga M, Tsanuo MK, 2014. Bioactive metabolites of *Senna didymobotrya* used as biopesticide against *Acanthoscelides obtectus* in Bungoma, Kenya. *J. Appl. Pharm. Sci.*, 4(9): 56－60.

Mo RH, Wu JJ, 2006. Invasion risk and quarantine countermeasures of *Acanthoscelides obtectus*. *Grain Storage*, 35: 13－15.［莫仁浩，吴佳教，2006. 菜豆象入侵风险及检疫对策探讨. 粮食储藏，35: 13－15］

Mutungi C, Affognon HD, Njoroge AW, Manono J, Baributsa D, Murdock LL, 2015. Triple-layer plastic bags protect dry common beans (*Phaseolus vulgaris*) against damage by *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrysomelidae) during storage. *J. Econ. Entomol.*, 108(5): 2479－2488.

Pang XF, Liang GW, 1955. The Control of Pest Population System. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou.［庞雄飞，梁广文，1955. 害虫种群系统的控制. 广州：广东科技出版社］

Pfaffenberger GS, 1985. Description, differentiation, and biology of the four larval instars of *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *Coleopt. Bull.*, 239－256.

Qian JS, An YL, Huang LY, Su H, Luo CK, 2005. The investigation of plant pests carried by ships entering Nanjing port. *Plant Quarantine*, 19(2): 117－118.［钱吉生，安榆林，黄立业，粟寒，罗朝科，2005. 南京口岸进境船舶携带植物有害生物调查. 植物检疫，19(2): 117－118］

Quan SX, Lv J, Song BS, Li NZ, Lou W, 1997. The quarantine identification and treatment of *Acanthoscelides obtectus*. *China Inbound and Outbound Phytosanitary*, (1): 31－33.［全尚雄，吕杰，宋保深，李南植，娄巍，1997. 菜豆象检验鉴定及处理研究. 中国进出境动植检，(1): 31－33］

Ramírez S, Suris M, 2015. Life cyle of *Acanthoscelides obtectus* (Say) on black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under laboratory conditions. *Revista de Protección Vegetal*, 30(2): 158－160.

Shen ZH, Liu C, Yang H, Zheng S, Luo QL, Xu BG, 2014. Occurrence regulation and countermeasures of *Acanthoscelides obtectus*. *Tillage and Cultivation*, (3): 47－48.［申智慧，刘春，杨洪，郑松，罗全丽，徐本刚，2014. 菜豆象发生规律与防治措施. 耕作与栽培，(3): 47－48］

Shi PJ, Ikemoto T, Ge F, 2011. Development and application of models for describing the effects of temperature on insects' growth and development. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1149－1160.［时培建，池本孝哉，戈峰，2011. 温度与昆虫生长发育关系模型的发展与应用. 昆虫知识，48(5): 1149－1160］

Soares MA, Quintela ED, Mascarin GM, Arthurs SP, 2014. Effect of temperature on the development and feeding behavior of *Acanthoscelides obtectus* (Chrysomelidae: Bruchinae) on dry bean

(*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Stored Prod. Res.*, 61: 90 – 96.

Sönmez E, Gülel A, 2008. Effects of different temperatures on the total carbohydrate, lipid and protein amounts of the bean beetle, *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Bruchidae). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(14): 1803 – 1808.

Su BL, Deng YH, Zou P, 2002. Wusong bureau intercepted a dangerous pest, *Acanthoscelides obtectus*. *Plant Quarantine*, 16(1): 48. [苏宝良,邓耀华, 邹频, 2002. 吴淞局截获一类危险性害虫——菜豆象. 植物检疫, 16(1): 48]

Tong YJ, 2001. First interception of the dangerous pest *Acanthoscelides obtectus* in Hainan. *China Agriculture Information*, (3): 36. [佟艳洁, 2001. 海南首次截获危险性害虫——菜豆象. 中国农业信息快讯, (3): 36]

Wang CP, Liu ZY, Wang YL, 2010. Risk analysis of *Acanthoscelides obtectus* in Shaanxi. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 56(5): 80 – 86. [汪成平, 刘占元, 王应伦, 2010. 菜豆象入侵陕西的风险分析. 陕西农业科学, 56(5): 80 – 86]

Wang H, Li L, Liang Z, Wu YJ, 2013. Research progress on plant quarantine and control of *Acanthoscelides obtectus* (Say). *Journal of Agriculture Catastrophology*, 3(9): 8 – 12. [王辉, 李琳, 梁正, 吴一江, 2013. 菜豆象检疫及防治研究进展. 农业灾害研究, 3(9): 8 – 12]

Wang JP, Wang XQ, Lv F, Gao P, 2006. Risk analysis of *Acanthoscelides obtectus* in China. *China Plant Protection*, 26(5): 8 – 11. [王菊平, 王小奇, 吕芳, 高萍, 2006. 菜豆象在中国的风险性分析. 中国植保导刊, 26(5): 8 – 11]

Wang RS, Lan ZX, Ding YQ, 1982. Mathematical models of the relationship between insect development and temperature. *Acta Ecologoca Sinica*, 2(1): 47 – 57. [王如松, 兰仲雄, 丁岩钦, 1982. 昆虫发育速率与温度关系的数学模型研究. 生态学报, 2(1): 47 – 57]

Wu KJ, Chen YP, Li MH, 1980. Effects of temperature on the growth of laboratory population of *Helicoverpa armigera*. *Acta Entomologica Sinica*, 23(4): 358 – 368. [吴坤君, 陈玉平, 李明辉, 1980. 温度对棉铃虫实验种群生长的影响. 昆虫学报, 23(4): 358 – 368]

Zeng C, Yang B, 2015. Identification of *Acanthoscelides obtectus* and *Callosobruchus chinensis* based on morphological characteristics. *Plant Doctor*, 28(3): 53 – 54. [曾琛, 杨波, 2015. 菜豆象和绿豆象形态特征鉴定. 植物医生, 28(3): 53 – 54]

Zhang SF, Liu YP, 1991. A study of the characteristics for rapid identification of eggs, old larvae and adults of *Acanthoscelides obtectus*. *Plant Quarantine*, 5(5): 326 – 331. [张生芳, 刘永平, 1991. 菜豆象卵,老熟幼虫及成虫的快速鉴定特征研究. 植物检疫, 5(5): 326 – 331]

Zhang SF, Liu YP, 1992. Vigilance of the dangerous insect pest *Acanthoscelides obtectus*. *World Agriculture*, (7): 34 – 35. [张生芳, 刘永平, 1992. 警惕危险性害虫菜豆象. 世界农业, (7): 34 – 35]

Zhang XY, 2002. Insect Ecology and Forecast. 3rd ed. China Agriculture Press, Beijing. 217 – 220. [张孝羲, 2002. 昆虫生态及预测预报(第3版). 北京: 中国农业出版社. 217 – 220]

Zhou YH, Jiang WH, Zhao ZM, Deng XP, 2001. Effect of temperature on the population increase of *Liriomyza sativae* and *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae). *Acta Ecologica Sinica*, 21(8): 1276 – 1284. [周亦红, 姜卫华, 赵志模, 邓新平, 2001. 温度对美洲斑潜蝇及南美斑潜蝇种群增长的影响. 生态学报, 21(8): 1276 – 1284]

(责任编辑: 赵利辉)